



Conception de filtres SIW miniatures sur un substrat céramique de forte permittivité

Michel Le Coq, Eric Rius, Jean-François Favennec, Benjamin Potelon, Cédric Quendo, Laetitia Estagerie, Pascal Moroni, Barbara Bonnet

► To cite this version:

Michel Le Coq, Eric Rius, Jean-François Favennec, Benjamin Potelon, Cédric Quendo, et al.. Conception de filtres SIW miniatures sur un substrat céramique de forte permittivité. 18èmes Journées Nationales Microondes, May 2013, Paris, France. pp.J1-DP-P6. hal-00982386

HAL Id: hal-00982386

<https://hal.science/hal-00982386>

Submitted on 23 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conception de filtres SIW miniatures sur un substrat céramique de forte permittivité

Michel Le Coq^{1,2,3}, Eric Rius^{1,2}, Jean-François Favennec^{1,2}, Benjamin Potelon^{1,2}, Cédric Quendo^{1,2}
Laetitia Estagerie³, Pascal Moroni⁴, Barbara Bonnet⁴

¹Université Européenne de Bretagne, France

²Université de Brest ; CNRS, UMR 3192 Lab-STICC, ISSTB, 6 avenue Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest Cedex 3

³CNES, 18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9

⁴Thales Alenia Space, 26 avenue J.F. Champollion - BP 1187 - 31037 Toulouse Cedex 1

Michel.Lecoq@univ-brest.fr : correspondant principal

Résumé

La technologie SIW (Substrate Integrated Waveguide) offre des solutions de filtrage hyperfréquence à fort facteur de qualité. Cependant, pour des fréquences de quelques gigahertz, les dimensions d'un tel dispositif sont importantes et rendent son implémentation dans un équipement de télécommunications spatial délicate car l'encombrement et le poids sont des enjeux majeurs. La solution proposée dans cet article consiste donc à utiliser un substrat céramique de forte permittivité, $\epsilon_r = 90$, de façon à travailler avec de plus courtes longueurs d'onde. L'exercice consistera ici à diviser par 8 ou 9 la surface d'un filtre existant en bande C, réalisé traditionnellement sur une alumine de permittivité $\epsilon_r = 9,9$.

1. Introduction

Les matériaux céramiques actuellement disponibles sur le marché proposent des caractéristiques diélectriques pertinentes pour la conception de dispositifs passifs. Certains d'entre eux atteignent de fortes permittivités relatives tout en présentant de faibles pertes diélectriques ($\tan\delta < 0,001$). Ils se montrent également très stables vis-à-vis de la température, un critère primordial pour un filtre destiné à équiper la charge utile d'un satellite de communications.

Cet article présente tout d'abord la technologie SIW de façon succincte, ainsi qu'un filtre conçu sur un substrat céramique classique en alumine de permittivité $\epsilon_r = 9,9$.

La partie suivante sera consacrée à la miniaturisation de ce filtre grâce à l'emploi d'un substrat céramique de forte permittivité.

Deux prototypes ont été conçus. Le premier est basé sur une structure identique à celle du filtre existant. Le second est une solution techniquement moins complexe à réaliser, en dépit d'un encombrement légèrement supérieur.

Tout en gardant un œil sur les performances électriques, la conclusion confronte les gains en surface obtenus à partir des filtres réalisés.

2. Présentation de la technologie SIW

De façon générale, un dispositif en technologie SIW est constitué d'un guide d'onde à l'intérieur duquel le signal ne se propage pas dans l'air mais dans un substrat diélectrique. Une fonction de filtrage peut être obtenue en formant des cavités à l'intérieur d'un tel guide. Ces cavités, ou résonateurs diélectriques, sont couplées entre elles par des iris ou des plots métalliques. C'est cette deuxième solution qui sera employée ici, pour la conception des filtres étudiés car elle diminue la difficulté de réalisation et limite la fragilité de la structure.

La réalisation d'un tel filtre est détaillée par la synthèse de N. Marcuvitz [1] et des solutions d'intégration sont proposées par D. Deslandes [2], [3].

Après avoir défini l'ordre du filtre, les longueurs des cavités et les diamètres des plots métalliques sont calculés à partir des spécifications électriques (Figure 1).

Afin d'estimer la réduction que l'on pourra atteindre dans cette étude, la Figure 2 présente une superposition de deux filtres équivalents (même ordre, mêmes fréquences), l'un conçu à partir d'un substrat de permittivité classique ($\epsilon_r = 9,9$) et le second avec un substrat de forte permittivité ($\epsilon_r = 90$).

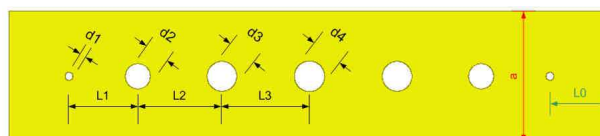


Figure 1. Synthèse d'un filtre SIW d'ordre 6

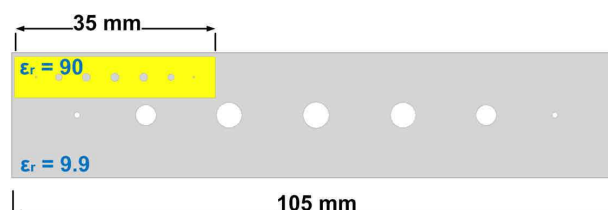


Figure 2. Miniaturisation envisageable pour un filtre SIW d'ordre 6 en bande C

3. Filtre à miniaturiser

Un filtre SIW d'ordre 6 a déjà été réalisé par A. El Mostrah [4]. Il s'agit d'un filtre replié, avec des accès microrubans et un rétro-couplage entre les cavités 1 et 6. Il fonctionne à la fréquence centrale de 4 GHz avec une bande passante relative de 6,25 %. Ses pertes d'insertion et sa platitude sont respectivement de 2,45 dB et 0,15 dB. Deux zéros de transmission améliorent sa réjection, le premier est situé à 3,8 GHz et fournit une atténuation de 38 dB, le second à 4,28 GHz avec une atténuation de 51 dB.

Le substrat utilisé est une alumine de permittivité $\epsilon_r = 9,9$, d'épaisseur $380 \mu\text{m}$ et de $\tan\delta = 0,0003$. Par comparaison avec l'équivalent planaire, l'encombrement d'un tel filtre à 4 GHz est important : $40 \times 80,35 = 3214 \text{ mm}^2$.

Le rétro couplage est introduit par une ligne conductrice située sur la face supérieure du filtre et isolée de la métallisation, par le dépôt d'une couche diélectrique de permittivité 2,9 (@ 1 GHz), d'épaisseur $10 \mu\text{m}$ et de $\tan\delta = 0,026$ (InterVia™). Cette opération a pour but de créer des zéros de transmission à proximité de la bande passante et ainsi d'augmenter la réjection. Il s'agit de venir faire un couplage électrique en venant puiser le champ électrique là où il est le plus fort, c'est à dire au centre de la cavité. Pour cela, on connecte deux sondes coplanaires gravées au centre des cavités, via la ligne microruban réalisée sur la couche diélectrique InterVia™.

4. Conception de filtres SIW miniatures

Le substrat sélectionné est du titanate de baryum néodyme, fourni par Trans-Tech. Sa permittivité relative est de 90 et il présente un $\tan\delta$ de 0,0009 (@ 3GHz). Une épaisseur de substrat de $635 \mu\text{m}$ permet d'obtenir un coefficient de qualité de 300 (Figure 3), proche de celui du filtre existant (260).

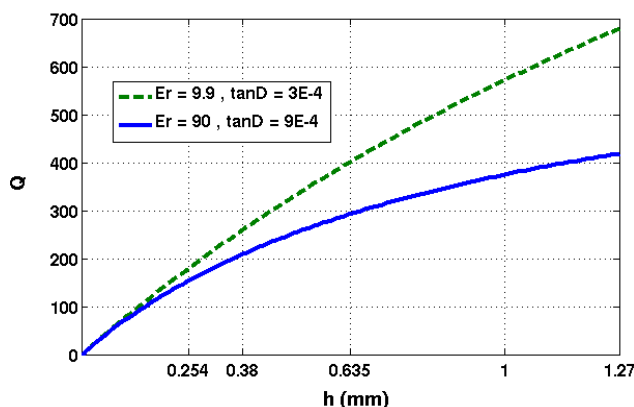


Figure 3. Estimation du facteur de qualité en fonction de l'épaisseur des substrats (@ 4 GHz)

L'intérêt de ce substrat a déjà été démontré dans le cas d'un filtre planaire [5] et il s'est montré très satisfaisant lors des mesures en température avec une variation de la fréquence centrale négligeable, inférieure à 5 MHz.

4.a. Réalisation d'un filtre SIW d'ordre 6 avec rétro-couplage

Ayant pour but de mettre en évidence l'intérêt des substrats de forte permittivité, un filtre SIW d'ordre 6 répondant aux mêmes spécifications a été conçu. Les longueurs des cavités et les diamètres des posts calculés à partir de la synthèse sont présentés dans le Tableau 1. Les techniques de métallisation permettent difficilement de réaliser des posts dont le diamètre est inférieur à $300 \mu\text{m}$ pour une épaisseur de substrat de $635 \mu\text{m}$. Or on peut constater que le plus petit perçage nécessaire à la conception du filtre est égal à $d1 = 240 \mu\text{m}$.

Permittivité	Diamètres des posts (mm)				Longueurs des cavités (mm)		
	d1	d2	d3	d4	L1	L2	L3
$\epsilon_r = 9,9$	0.71	2.92	3.65	3.77	12.7	15.1	15.7
$\epsilon_r = 90$	0.24	0.97	1.21	1.25	4.23	5.02	5.22

Tableau 1. Dimensions des filtres SIW d'ordre 6 conçus sur des substrats de permittivité $\epsilon_r = 9,9$ et $\epsilon_r = 90$

La surface du filtre est de $26,34 \times 14,24 = 375 \text{ mm}^2$ (Figure 4), ce qui représente une réduction de 88% de la surface du filtre existant, conçu sur de l'alumine de permittivité $\epsilon_r = 9,9$.

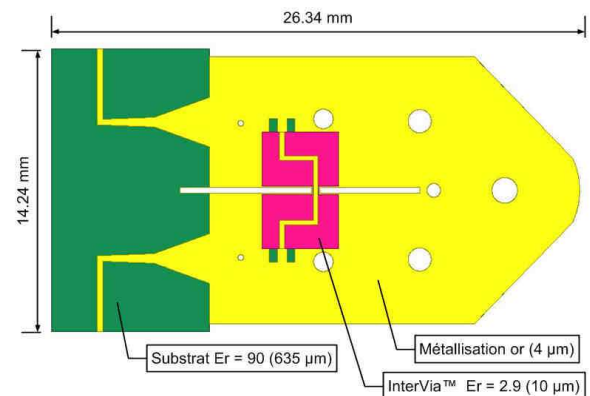


Figure 4. Représentation du filtre SIW d'ordre 6

Le filtre a pu être réalisé et mesuré. Les résultats sont en accord avec la simulation sous HFSS. On a constaté un décalage en fréquence de la réponse du filtre de l'ordre de +25 MHz qui correspondrait à une permittivité du substrat de 89 au lieu de 90 (Figure 5). Les pertes d'insertion sont de 2,63 dB avec une platitude de 1 dB.

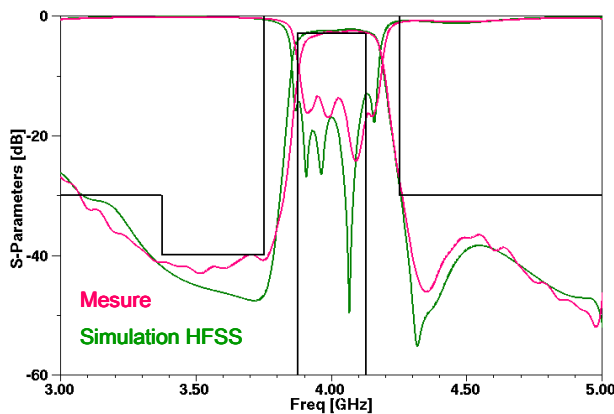


Figure 5. Mesure et rétro-simulation ($\epsilon_r = 89$) du filtre SIW d'ordre 6

4.b. Réalisation d'un filtre SIW d'ordre 8

L'utilisation d'une surcouche diélectrique de type InterVia™ complexifie la réalisation du filtre, la qualification spatiale de ce procédé n'est pas acquise. Nous avons donc envisagé de nous affranchir de cette dernière en concevant un filtre d'ordre supérieur (ordre 8) pour atteindre la réjection souhaitée. Sa surface est de $33,12 \times 14,64 = 485 \text{ mm}^2$. Cette solution présente donc un encombrement supérieur que celle proposée précédemment mais la miniaturisation reste considérable avec une réduction de la surface de près de 85% par rapport au filtre sur le substrat de permittivité 9,9.

La réponse obtenue en mesure présente bien entendu un peu plus de pertes (3 dB) que son homologue d'ordre 6, mais correspond tout aussi bien à la simulation HFSS (Figure 6).

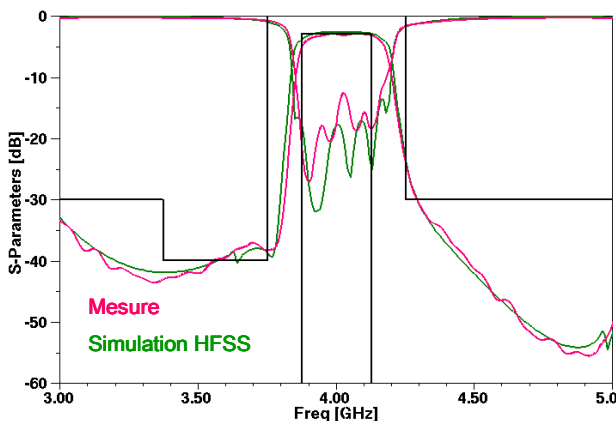


Figure 6. Mesure et rétro-simulation ($\epsilon_r = 89$) du filtre SIW d'ordre 8

5. Conclusion

Les filtres à cavité présentent un facteur de qualité élevé mais leurs dimensions et leur poids sont souvent rédhibitoires lors de leur intégration dans un système embarqué, en particulier pour les applications spatiales.

Nous avons proposé ici deux versions miniaturisées d'un filtre SIW en bande C présentant une réduction de la surface de 85 % pour le filtre d'ordre 8 et de 88 % pour l'ordre 6. La Figure 7 illustre à elle seule le

gain en taille obtenu en utilisant des substrats de forte permittivité.

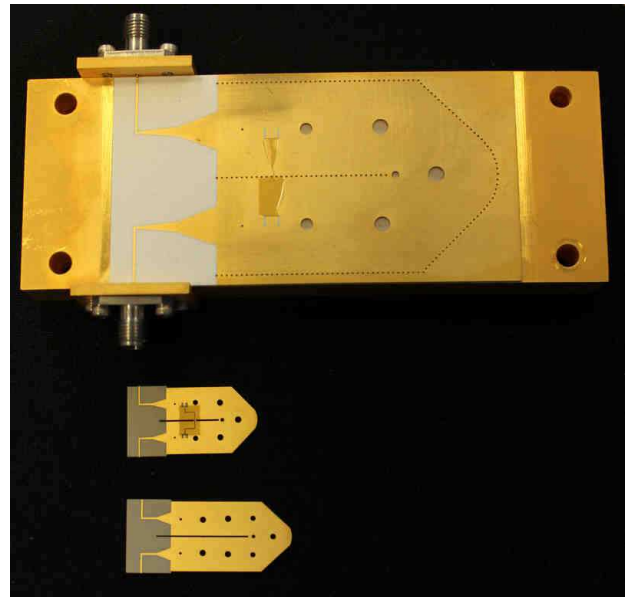


Figure 7. Photographie du filtre SIW existant avec les versions miniaturisées

6. Remerciements

Nous tenons à remercier particulièrement Monsieur F. MECA de Thin Film Products pour la qualité et la précision de ses réalisations ainsi que pour son implication sur ce projet.

7. Bibliographie

- [1] N. Marcuvitz, Waveguide handbook. 1986.
- [2] D. Deslandes and K. Wu, "Single-substrate integration technique of planar circuits and waveguide filters," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 51, no. 2, 2003.
- [3] D. Deslandes and K. Wu, "Integrated microstrip and rectangular waveguide in planar form" IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 11, no. 2, 2001.
- [4] A. El Mostrah, B. Potelon, E. Rius, C. Quendo, and J.-F. Favennec, "C-band cross-coupled SIW filter using a novel topology of electric coupling" European Microwave Conference, 2010
- [5] M. Le Coq, E. Rius, C. Quendo, B. Potelon, J.-F. Favennec, L. Estagerie, P. Moroni, Y. Clavet, and A. Manchec, "Miniature microstrip filter using high-permittivity ceramic substrates ($\epsilon_r = 90$)" IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 2011.